

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-246943

(43) 公開日 平成11年(1999)9月14日

| (51) Int.CI. | 識別記号 | F I |
|--------------|-------|-------------|
| C 22 C | 38/00 | 3 0 1 |
| C 21 D | 6/00 | |
| C 22 C | 38/18 | |
| | 38/26 | |
| C 23 C | 8/26 | C 23 C 8/26 |

審査請求 未請求 請求項の数 10 FD

(全7頁)

(21) 出願番号 特願平10-64110

(22) 出願日 平成10年(1998)2月27日

(71) 出願人 000210986

中央発條株式会社

愛知県名古屋市緑区鳴海町字上汐田68番地

(72) 発明者 青木 利憲

名古屋市緑区鳴海町字上汐田68番地

中央

発條株式会社内

(72) 発明者 臨田 将見

名古屋市緑区鳴海町字上汐田68番地

中央

発條株式会社内

(72) 発明者 神原 隆之

名古屋市緑区鳴海町字上汐田68番地

中央

発條株式会社内

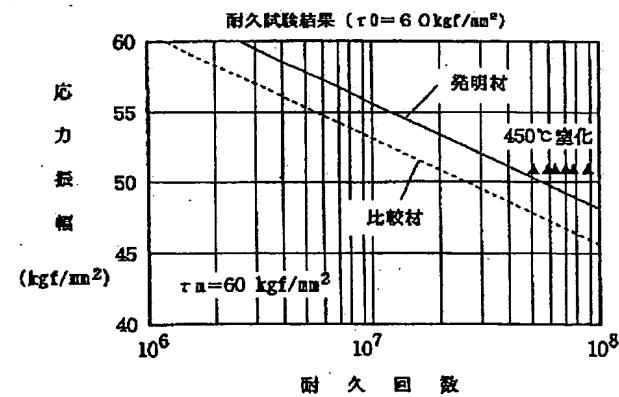
(74) 代理人 弁理士 小林 良平 (外1名)

(54) 【発明の名称】高強度弁ばね及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 最適の素材を選択した上、その後のばねの製造工程を適切に組み合わせることにより、従来のものよりも耐疲労性、耐へたり性、耐遅れ破壊性を向上した弁ばねを提供する。

【解決手段】 素材として、C: 0.5~0.8% (重量比)、Si: 1.2~2.5%、Mn: 0.4~0.8%、Cr: 0.7~1.0%、Al: 0.005%以下、Ti: 0.005%以下であって、最大非金属介在物が1.5 μmである鋼を使用する。オイルテンパー処理の際、焼入れ加熱温度を950°C以上1100°C以下とし、コイリング後、窒化処理を施す。望ましくは480°C以上の高温で窒化処理を施す。素材に高シリコン鋼を用いているため、焼戻し温度を高くすることができ、このような高温窒化処理も可能となる。これにより、高い表面硬さを得ることができ、耐疲労性、耐へたり性、耐遅れ破壊性が向上する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量比にしてC:0.5~0.8%、Si:1.2~2.5%、Mn:0.4~0.8%、Cr:0.7~1.0%を含有し、残部Fe及び不可避的不純物から成り、不可避的不純物であるAl含有量が0.005%以下、同Ti含有量が0.005%以下であって、最大非金属介在物が15μmである鋼に、焼入れ加熱温度を950°C以上1100°C以下として焼入れ・焼戻しを施したオイルテンパー線を素材として使用し、コイリング後、窒化処理を施したことと特徴とする高強度弁ばね。

【請求項2】 素材鋼が更に、V:0.05~0.15%、Mo:0.05~0.5%、W:0.05~0.15%、Nb:0.05~0.15%のうち1種以上を含有する請求項1記載の高強度弁ばね。

【請求項3】 焼入れ焼戻し後のオイルテンパー線において、残留オーステナイトが体積率で1~5%である請求項1又は2記載の高強度弁ばね。

【請求項4】 焼入れ焼戻し後のオイルテンパー線において、粒子径が0.05μm以上である炭化物の組織内密度が、組織観察写真上で5ケ/μm²以下である請求項1~3のいずれかに記載の高強度弁ばね。

【請求項5】 窒化処理を480°C以上で行ない、表面硬さをHV900以上とした請求項1~4のいずれかに記載の高強度弁ばね。

【請求項6】 重量比にしてC:0.5~0.8%、Si:1.2~2.5%、Mn:0.4~0.8%、Cr:0.7~1.0%を含有し、残部Fe及び不可避的不純物から成り、不可避的不純物であるAl含有量が0.005%以下、同Ti含有量が0.005%以下であって、最大非金属介在物が15μmである鋼に、焼入れ加熱温度を950°C以上1100°C以下として焼入れ・焼戻しを施したオイルテンパー線をコイリングした後、窒化処理を施すことと特徴とする高強度弁ばねの製造方法。

【請求項7】 素材鋼が更に、V:0.05~0.15%、Mo:0.05~0.5%、W:0.05~0.15%、Nb:0.05~0.15%のうち1種以上を含有する請求項6記載の高強度弁ばねの製造方法。

【請求項8】 焼入れ処理において、加熱速度150°C/sec以上で、1100°C以下でT(°C) = 500 + 750 · C (炭素量%) + 500 · V (バナジウム量%)で決まる温度以上 (ただし、950°C以上) の範囲に加熱し、加熱開始から水又は油による冷却開始までの時間を15秒以内とする請求項6又は7に記載の高強度弁ばねの製造方法。

【請求項9】 焼戻し処理において、加熱速度150°C/sec以上で、450°C~600°Cに加熱し、加熱開始から水等の冷媒を用いた冷却開始までの時間を15秒以内とする請求項6~8のいずれかに記載の高強度弁ば

ねの製造方法。

【請求項10】 表面硬さがHV900以上となるよう、窒化処理を480°C以上で行なう請求項6~9のいずれかに記載の高強度弁ばねの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、主に自動車用内燃機関の弁ばねとして用いられる、耐疲労性・耐へたり性及び耐遅れ破壊性に優れた高強度弁ばね及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 内燃機関の弁ばね用線材として、JISには弁ばね用オイルテンパー線 (SWO-V: JIS G3561)、弁ばね用クロムバナジウム鋼オイルテンパー線 (SWOCV-V: JIS G3565)、及び、弁ばね用シリコンクロム鋼オイルテンパー線 (SWOSC-V: JIS G3566) 等が規定されているが、従来、耐疲労強度及び耐へたり性に優れるSWOSC-Vが主に利用されてきた。

【0003】 一方、環境保護及び資源保護の観点より、自動車に対しては排気の清浄化及び燃費向上への努力が常に要請されているが、これらに対して大きく寄与するのが車体の軽量化であり、車体を構成する各部品についても軽量化への努力がたゆまず続けられている。

【0004】 このため、弁ばね用線材についても、疲労強度を更に高め、へたりを低下させるための提案が種々なされている。例えば、特開平8-176730号公報では、重量%でC:0.5~0.8%、Si:1.2~2.5%、Mn:0.4~0.8%、Cr:0.7~1.0%を含有し、残部Fe及び不可避的不純物から成り、不可避的不純物であるAl含有量が0.005%以下、同Ti含有量が0.005%以下である鋼に焼入れ加熱温度を950°C以上1100°C以下として焼入れ焼戻しを施したオイルテンパー線が、高強度弁ばね用として提案されている (請求項1)。この公報では更に、素材鋼にV:0.05~0.15%を含有させたオイルテンパー線 (請求項2)、それに加えてMo:0.05~0.5%、W:0.05~0.15%、Nb:0.05~0.15%のうち少なくとも1種以上を含有させたオイルテンパー線 (請求項3) が提案されている。また、

同一出願人に係る特開平9-71843号公報では、同様の成分量を含有する鋼を用い、焼入れ焼戻し後の残留γ(オーステナイト)を体積比で1~5%とした高韌性ばね用オイルテンパー線を提案している (請求項1、2)。この公報ではまた、焼入れ焼戻し後において、粒子径が0.05μm以上である炭化物の組織内密度が、組織観察写真上で5ケ/μm²以下であるとしたオイルテンパー線も提案し (請求項3、4)、これらの組み合わせでもよいとしている (請求項5、6)。そして、その具体的な製造方法として、請求項1、2、5、6の場合には焼入れ焼戻し工程における焼戻しを加熱速度150

°C/sec以上で450~600°Cに加熱し、加熱開始から水等の冷媒を用いた冷却開始までの時間を15秒以内とすること、請求項3、4、5、6の場合には、焼入れ加熱を加熱速度150°C/sec以上で1100°C以下でT(°C) = 500 + 750 · C(炭素量) + 500 · V(バナジウム量)で決まる温度以上の範囲に加熱し、加熱開始から水又は油による冷却開始までの時間を15秒以内とすること、等を開示している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来提案されているものの多くは素材としての鋼か、せいぜい上記のような線材(オイルテンバー線)段階までであり、最終製品である弁ばねを製造する段階まで、高疲労強度・耐へたり性を実現するための方策を規定したものはなかった。しかし、いかに良好な素材を用いたとしても、その後の製造工程が不適切であれば素材の性能が十分に發揮されないばかりか、弁ばねの製造自体を困難にし、場合によっては逆に疲労強度や耐へたり性を悪化させる危険性がある。

【0006】本発明はこのような課題を解決するために成されたものであり、その目的とするところは、最適の素材を選択した上、その後のばねの製造工程を素材に応じた適切なものとすることにより、従来のものよりも疲労強度を向上した弁ばねを提供することにある。具体的には、素線の最大剪断応力がτ = 60 ± 51 kgf/mm²となるような繰り返し負荷に対して5 × 10⁷回以上の耐久回数を有する高強度弁ばねを提供するものである。また、本発明では、遅れ破壊に対する耐性をも考慮して、その特性の向上も図っている。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため成された本発明に係る高強度弁ばねは、

- i) 重量比にしてC: 0.5~0.8%、Si: 1.2~2.5%、Mn: 0.4~0.8%、Cr: 0.7~1.0%を含有し、残部Fe及び不可避免の不純物から成り、不可避免の不純物であるAl含有量が0.005%以下、同Ti含有量が0.005%以下であって、最大非金属介在物が15 μmである鋼に、
- ii) 焼入れ加熱温度を950°C以上1100°C以下として焼入れ・焼戻しを施したオイルテンバー線を素材として使用し、
- iii) コイリング後、窒化処理を施した、ことを特徴とするものである。

【0008】ここで、上記i)の素材鋼は更に、V: 0.05~0.15%、Mo: 0.05~0.5%、W: 0.05~0.15%、Nb: 0.05~0.15%のうち1種以上を含有してもよい。

【0009】また、上記ii)の焼入れ焼戻し後のオイルテンバー線において、残留オーステナイトが体積率で1~5%となるようにするとよい。

【0010】同様に、上記iii)の焼入れ焼戻し後のオイルテンバー線において、粒子径が0.05 μm以上である炭化物の組織内密度が、組織観察写真上で5ケ/μm²以下となるようにするとよい。

【0011】上記iii)の窒化処理は、従来の弁ばねに施していたものと同様の温度で行なってもよいが、本発明の場合、480°C以上で行ない、表面硬さをHV900以上とすることにより、より高強度の弁ばねとすることができる。

10 【0012】

【発明の実施の形態】本発明の高強度弁ばねではまず、素材鋼のシリコン含有量を従来の弁ばね用シリコンクロム鋼オイルテンバー線(SWOSC-V)よりも高く、1.2~2.5%とした。シリコンはフェライト及びマルテンサイト中に固溶してそれを強化するとともに、マルテンサイト相の焼戻し時の【フェライト+炭化物】への分解を遅らせる作用を有する。つまり、オイルテンバー処理時の相分解温度を高温側にシフトさせるため、同じ引張強さを得るために焼戻し温度を従来よりも高くするこ

20 とができる。焼戻し温度の上昇は、転位の回復を促進し、組織を安定化する。これは、疲労亀裂の起点を発生し難くすることから、時間疲労強度を上げ、且つ疲労限度を上昇させる。また、遅れ破壊強度をも向上させる。

【0013】焼戻し温度の上昇は、弁ばね使用時の温度上昇による組織変化を防止し、転位の移動を困難にする。これは、耐へたり性の向上にも寄与する。

【0014】次に、窒化処理は高温で行なうほど窒素の鋼中への侵入が容易となり、高い表面硬さを得ることができることは十分理解されているが、窒化処理の温度が

30 オイルテンバー処理の焼戻し温度を越えると、線材の内部硬さが低下して、疲労強度や耐へたり性に悪影響を及ぼす。このため、従来、窒化処理温度を上げることは不可能と考えられていた。本発明では、上記の通り、シリコンの強化作用により焼戻し温度を上げることが可能となった。これにより、窒化処理温度を同様に上げることが可能となり、表面硬さの上昇、すなわち、疲労強度の向上が可能となった。これはまた、耐へたり性の向上にも寄与する。

【0015】上記の基本的な思想の下、本発明では上記40 特開平8-176730号及び特開平9-71843号で提案されたオイルテンバー線を素材として採用することとした。従って、その成分及び組織限定条件は同公報の記載を借りて以下に説明する。

【0016】C: 0.5~0.8重量%

Cは鋼線の強度を高めるために必須の元素であるが、0.5%未満では十分な強度が得られず、逆に0.8%を越えると韌性が低下し、さらに鋼線の疵感受性が増大し、信頼性が低下するためである。

【0017】Si: 1.2~2.5重量%

50 Siは上記の通りフェライト及びマルテンサイトの強度

を向上させ、耐へたり性を向上させるのに有効な元素である。1. 2%未満ではその十分な効果が無く、逆に2. 5%を越える場合は冷間加工性を低下させるとともに熱間加工性や熱処理による脱炭を助長するからである。

【0018】Mn : 0.4~0.8重量%

Mnは鋼の焼入性を向上させ、鋼中のSを固定してその害を阻止するが、0.4%未満ではその効果がなく、逆に0.8%を越えると韌性が低下するためである。

【0019】Cr : 0.7~1.0重量%

CrはMn同様、鋼の焼入れ性を向上させ、かつ熱間圧延後のパテンディング処理により韌性を付与し、焼入れした後、焼戻し時の軟化抵抗性を高め、高強度化するのに有効な元素である。0.7%未満ではその効果が少なく、逆に1.0%を越えると炭化物の固溶を抑制し、強度の低下を招くとともに、焼入れ性の過度の増大となって韌性をもたらすためである。

【0020】V : 0.05~0.15重量%

Vは焼戻し時に炭化物を形成し、軟化抵抗を増大させる元素であるが、0.05%未満ではその効果が少ない。また、0.15%を越えると焼入れ加熱時に炭化物を多く形成し、韌性の低下をまねくからである。

【0021】Mo : 0.05~0.5重量%

Moは焼戻し時に炭化物を形成し、軟化抵抗を増大させる元素であるが、0.05%未満ではその効果は少なく、また0.5%を越えると焼入れ加熱時に炭化物を多く形成し、韌性の低下をまねくからである。

【0022】Nb : 0.05~0.15重量%

Nbは焼戻し時に炭化物を形成し、軟化抵抗を増大させる元素であるが、0.05%未満ではその効果が少ない。また、0.15%を越えると焼入れ加熱時に炭化物を多く形成し、韌性の低下をまねくからである。

【0023】Al, Ti : 0.005重量%以下

これらはいずれも高融点非金属介在物であるAl₂O₃、TiO₂を形成する。これらの介在物は硬質で、鋼線表面直下に存在した場合、疲労強度を著しく低下させる。このため、不可避的不純物とはいえ、いずれも0.005%以下とした。原料において、これら不純物濃度が低いものを用いればよい。

【0024】焼入れ加熱温度：950°C以上 1100°C以下

焼入れ加熱温度によって焼入れ時のV等の固溶量が決まり、温度が高いほど固溶量も大きい。950°C未満ではV等の固溶量が小さくなり、炭化物が多く析出する。また、1100°Cにおいて本発明におけるV、W、NbはそのほとんどがFe中に固溶していると考えられるので、1100°Cを越えても韌性の向上、軟化抵抗の増大は認められないからである。

【0025】窒化処理：480°C以上、表面硬さHv900以上

窒化処理はオイルテンパー処理後に行われるため、オイルテンパー処理時の焼戻し温度を越えることはできない。従来のオイルテンパー線では焼戻し温度が最高でも450°C以下であったため、窒化処理も必然的にその温度以下とせざるを得なかった。しかし、本願発明に係る高強度弁ばねでは、前記の通り素材に高シリコン鋼を使用したため、オイルテンパー時の焼戻し温度を高くすることができた。これにより、窒化処理も480°C以上という高温で行うことが可能となったものである。

- 10 【0026】あらゆる化学処理は一般に高温になればなるほど活性化される。窒化処理の場合、このように高温で行うことにより、窒素(N)がより鋼中に侵入しやすくなり、ばねの表面を更に硬くすることが可能となる。480°C以下の温度では本発明が目標とする表面硬さを得ることができないためであり、また、表面硬さHv900以下でも目標とする疲労強度を得ることができないためである。

【0027】残留オーステナイト(γ) : 1~5体積率%

- 20 焼戻しマルテンサイト中に存在する残留オーステナイト相は鋼の韌性を向上させるが、体積率1%未満ではその効果がなく、5%を越えるとばね使用中のマルテンサイト変態によりへたり量が増える危険性があるからである。

【0028】粒子径0.05μm以上の炭化物の組織内密度：5ケ/μm²以下

粒子径0.05μm以上の炭化物は組織内に存在すると、ばね成形時等において破壊の起点となり得る。この存在密度が組織観察写真上で5ケ/μm²を越えると韌性が著しく低下するからである。

- 30 【0029】これらの残留オーステナイト量及び/又は炭化物量の規定は、次のような熱処理方法により実現することが望ましい。

【0030】焼入れ焼戻し工程における焼入れ加熱に関しては、加熱速度150°C/sec以上で、1100°C以下でT(°C) = 500 + 750 · C + 500 · Vで決まる温度以上(ただし、950°C以上)の範囲に加熱し、加熱開始から水又は油による冷却開始までの時間を15秒以内とする。

- 40 【0031】冷却開始までの時間を15秒以内としなければ結晶粒が粗大化し、韌性が劣化し、加熱速度が150°C/sec以下であれば冷却開始までの15秒間で十分な炭化物の固溶ができない。また、加熱温度が1100°C以上であれば結晶粒粗大化による韌性劣化や脱炭が起こり、T(°C) = 500 + 750 · C + 500 · V以下であれば、十分な炭化物の固溶ができない。

【0032】焼入れ焼戻し工程における焼戻し加熱に関しては、加熱速度150°C/sec以上で、450°C~600°Cに加熱し、加熱開始から水等の冷媒を用いた冷却開始までの時間を15秒以内とする。

- 50 却開始までの時間を15秒以内とする。

【0033】加熱速度を $150^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 、冷却開始までの時間を15秒以内としなければ、残留オーステナイト相が体積率1%未満に消失してしまうためである。

【0034】

【実施例】以下に、従来より一般に広く用いられているシリコンクロム鋼オイルテンパー線(SHOSC-V)にバナジウムを少量添加した鋼を比較材として、本発明に係る高強度弁ばねの特性を実験結果により明らかにする。実験に用いた発明材及び比較材の化学組成を図1に示す。

【0035】これらの両供試材は、共に真空溶解炉で溶製した後、熱間鍛造、熱間圧延により6.5mm径の線材(素線)とした。この素線からΦ3.2mmオイルテンパー線を得るまでの工程は図2に示す通りである。オイルテンパー処理は各供試材により異なり、それぞれ図3に示す条件で行った。オイルテンパー線の状態における両供試材の引張強さ及び絞りは図4の通りであった。

【0036】こうして得たオイルテンパー線より、図5に示す諸元を有する弁ばねを成形した。その後、図6に示す条件で窒化処理を施した。発明材は、窒化温度を従来同様の 450°C と、更に高温とした 480°C で行なつたが、図7に示す通り、窒化温度を高くすることにより表面硬さが上がり、また、硬化深さも大きくなっている。なお、高温窒化処理により内部硬さはやや下がっているが、それでも、 480°C 窒化処理材の内部硬さは比較材の通常窒化処理材のそれとほぼ同等であり、窒化深さも比較材とほぼ同等となっている。従って、本発明材は内部強度を同等に保持したまま、表面硬さを従来よりも上昇させることができると予想される。これらの特性については後述する。

【0037】窒化後、従来と同様の方法でショットピーニングを行い、実際に使用される弁ばねと同じ状態とした。

【0038】こうして作製した弁ばねについて、疲労強度、耐へたり性及び遅れ破壊強度について試験した結果を図8～図10により説明する。

【0039】図8は、 450°C で窒化を行なった発明材の弁ばねに対して、ばね素線表面の剪断応力が $\tau = 60 \pm 51 \text{ kgf/mm}^2$ となるような応力振幅を繰り返し負荷を付与したときの、折損までの回数(耐久回数)をプロットしたグラフである。図8に示す通り、 450°C の窒化処理をしたものでも比較材よりも良好な疲労強度を示しており、本発明材では、 $\tau = 60 \pm 51 \text{ kgf/mm}^2$ でB10寿命(全試験片中の10%が折損する繰り返し回数)が 5×10^7 回以上、という目標が達成されている。

【0040】また、 $\tau = 70 \pm 60 \text{ kgf/mm}^2$ という厳し

い条件で同様に耐久試験を行なった結果、図9に示す通り、発明材はいずれの窒化温度でも比較材よりも良好な疲労強度を示しており、特に、窒化温度を 480°C としたときの発明材のB10寿命は 2.5×10^7 回以上となっており、このような高負荷条件下でも本発明に係る弁ばねは十分実用に耐えることが証明された。

【0041】図10は、表面の最大剪断応力が $\tau = 90 \text{ kgf/mm}^2$ となるような固定負荷を付与した状態で、供試弁ばねを 120°C の雰囲気下に置き、48時間放置した10後の残留剪断歪 γ を測定した結果のグラフである。発明材は比較材よりもはるかに良好な耐へたり性を示している。

【0042】図11は、遅れ破壊特性を評価した試験の結果を示すものである。すなわち、弁ばねにコイリングした後に生成する残留応力の値を種々に変化させ、各応力値においてクラック(割れ)が発生するまでの時間を測定した結果を表わすグラフである。本発明材は、クラック発生時間が比較材よりも遙かに長くなっていることがわかる。

【0043】

【発明の効果】本発明に係る高強度弁ばねでは、まず、素材鋼のシリコン含有量を高くして、そのフェライト及びマルテンサイトに対する固溶強化、及び、マルテンサイト相の焼戻し時の【フェライト+炭化物】への分解を遅らせる作用を利用した。すなわち、オイルテンパー処理時の相分解温度を高温側にシフトさせ、転位の回復を促進し、組織を安定化させた。焼戻し温度の上昇は、また、高温窒化処理を可能とし、表面硬さの上昇を可能とした。これらの作用により、疲労強度の向上が可能となった。焼戻し温度の上昇は、一方、弁ばね使用時の温度上昇による組織変化も防止し、転位の移動を困難にする。これは、耐へたり性の向上にも大きく寄与するものとなった。このような素材特性を有するオイルテンパー線に、本発明ではそれにふさわしい窒化処理を施すことにより、それらの有利な素材特性を最大限に生かした高強度弁ばねを作製することができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】 供試材の化学組成。

【図2】 オイルテンパー線までの製造工程。

40 【図3】 オイルテンパー処理条件。

【図4】 オイルテンパー線の引張特性。

【図5】 弁ばね諸元。

【図6】 窒化処理条件。

【図7】 窒化後の表面硬さ分布。

【図8】 耐久試験結果(その1)。

【図9】 耐久試験結果(その2)。

【図10】 热間締め付け試験結果。

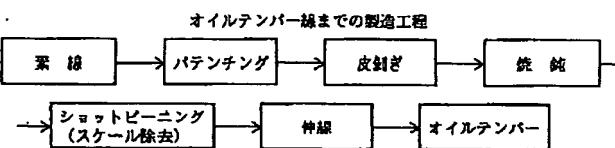
【図11】 遅れ破壊試験結果。

【図1】

供試材の化学組成(重量%)

| | C | Si | Mn | Cr | V |
|-----|------|------|------|------|------|
| 発明材 | 0.64 | 2.05 | 0.71 | 0.76 | 0.10 |
| 比較材 | 0.64 | 1.31 | 0.69 | 0.69 | 0.11 |

【図2】



【図3】

オイルテンバー処理条件

| | 焼入れ | 焼戻し |
|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 発明材 | 950°C (高周波加熱) → 加熱開始後 15秒以内に冷却 | 420°C (高周波加熱) → 加熱開始後 15秒以内に冷却 |
| 比較材 | 900°C (穿孔加熱) → 10分保持後冷却 | 420°C (穿孔加熱) → 5分保持後冷却 |

【図4】

オイルテンバー線の引張特性

| | 引張強さ (N/mm²) | 伸び (%) |
|-----|--------------|--------|
| 発明材 | 2033 | 50.4 |
| 比較材 | 1989 | 48.8 |

【図5】

弁ばね諸元(寸法単位mm)

| 線径 | コイル径 | 巻数 | 有効巻数 | 自由長 |
|------|-------|-----|------|-----|
| φ3.2 | φ21.2 | 8.5 | 4.6 | 50 |

(D/d = 6.8、ピッチ角: 6.6°)

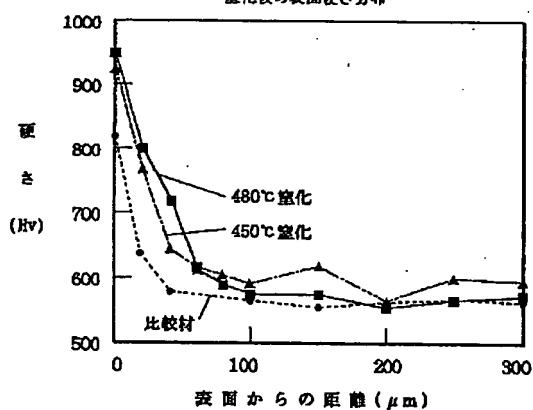
【図6】

窒化処理条件

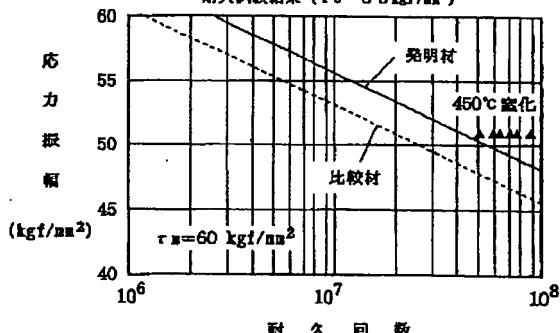
| 発明材 | ① 450°C×120分 ② 480°C×120分 |
|-----|------------------------------|
| 比較材 | 420°C×120分 |

【図7】

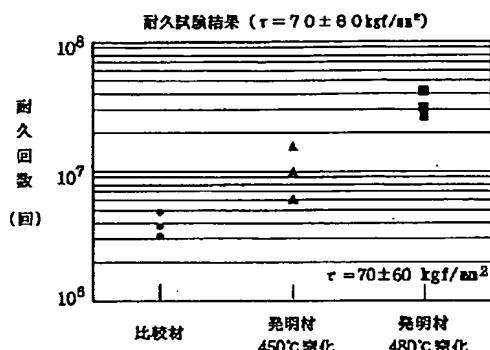
窒化後の表面硬さ分布



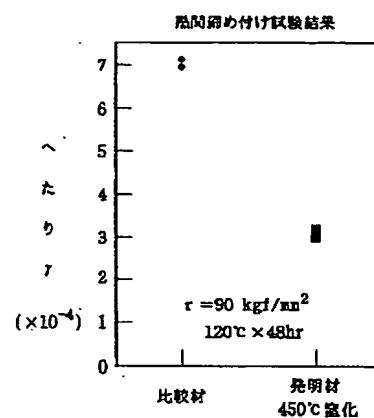
【図8】

耐久試験結果 ($\tau_0 = 60 \text{ kgf/mm}^2$)

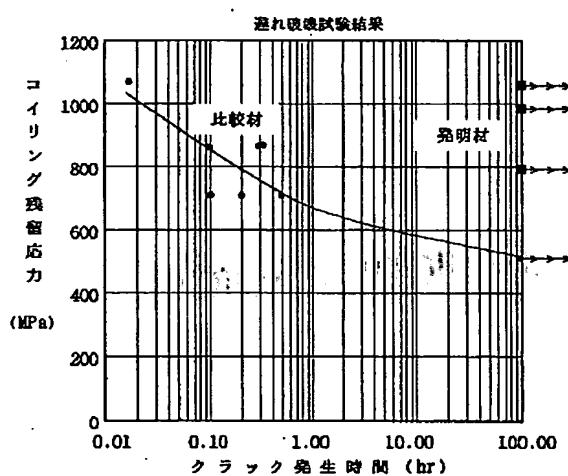
【図9】



【図10】



【図11】



This Page Blank (uspto)